



REPORTE DE ESTABILIDAD FINANCIERA

Marzo de 2009

Índice de Estabilidad Financiera para Colombia

Dairo Estrada
Miguel Ángel Morales

Índice de Estabilidad Financiera para Colombia^{*}

Dairo Estrada
Miguel Ángel Morales^{**}

5 de Mayo de 2009

Resumen

Los desequilibrios en los sistemas financieros actuales y de finales de los años noventa, evidenciaron una vez más los enormes costos económicos y sociales generados por los periodos de inestabilidad financiera. De allí que la construcción de índices de estrés haya empezado a ser ampliamente desarrollada como alternativa para evaluar la calidad de los sistemas financieros en el mundo. El objetivo de este documento es desarrollar un índice continuo y cuantificable con la capacidad de determinar el nivel de estrés del sistema financiero colombiano teniendo en cuenta consideraciones de rentabilidad, liquidez y probabilidad de incumplimiento. Las metodologías utilizadas abarcan la aproximación de igualdad de varianzas, los componentes principales, y en general modelos para datos de conteo. Los resultados muestran que el índice logra determinar el nivel de estrés contemporáneo del sistema tanto de manera global como desagregada. Asimismo, se desarrollaron pronósticos del índice de estabilidad financiera (IEFI) usando algunas variables macroeconómicas relevantes.

Palabras Claves: Índices de estrés bancario, instituciones financieras, monitoreo, fragilidad financiera.

Clasificación JEL : E44, G21, C25

^{*} Las opiniones contenidas en este documento son exclusivas de los autores y no comprometen al Banco de la República ni a su Junta directiva. Los autores son responsables de los errores que persistan.

^{**} Los autores son en su orden *Director* y *Profesional* del Departamento de Estabilidad Financiera, Banco de la República de Colombia. E-mail: destrada@banrep.gov.co, mmoralmo@banrep.gov.co

1. Introducción

Los grandes desequilibrios en los mercados financieros y bancarios de finales de los años noventa evidenciaron una vez más los enormes costos económicos y sociales generados por los periodos de inestabilidad financiera. A partir de estos hechos, la banca central y las autoridades de supervisión han orientado gran parte de su investigación hacia el desarrollo de potenciales indicadores de alerta temprana, escenarios de estrés y estudios acerca de la situación actual del sector financiero. Con este tipo de análisis se busca medir la vulnerabilidad del sistema y entender cómo este puede reaccionar no solo ante choques macroeconómicos, sino también ante los cambios en las medidas regulatorias.

La dificultad de definir de manera adecuada el concepto de estabilidad financiera, no solamente desde el punto de vista teórico, sino también empírico, ha generado problemas en el seguimiento y comparación de los sistemas financieros entre países y a través del tiempo. Caso contrario ocurre con la definición de estabilidad de precios, en la cual existe un acuerdo generalizado, como también un análisis cuantitativo en términos de agregados monetarios, tasas de interés e inflación que proporcionan instrumentos de conocimiento general para cumplir con los objetivos de estabilidad de precios.

De ahí que uno de los principales obstáculos para realizar un buen diagnóstico de estabilidad financiera, es que no existe un acuerdo con relación a su definición, lo cual dificulta el pronóstico del comportamiento futuro del sistema financiero. Asimismo, la mayoría de los análisis de estabilidad financiera son *backward-looking*, lo que difiere con el análisis de estabilidad de precios en donde el estudio se realiza desde una perspectiva tanto *backward looking*, como *forward looking*. Acorde con esta premisa, muchos estudios de estabilidad financiera se han fundamentado en el análisis de los períodos de crisis por los que han pasado los sistemas financieros alrededor del mundo, buscando antecedentes comunes en los fenómenos de crisis e intentando identificar qué tipo de variables podrían haberlas generado. Dentro de este enfoque podemos citar los trabajos de Kaminsky y Reinhart (1996), Logan (2000), Berg (1999), Disyatat (2001), Demirgüç-Kunt y Detragiache (1998). A pesar que este enfoque ayuda a mejorar los diagnósticos de sucesos de crisis, presenta la desventaja que la definición de eventos de crisis y no crisis es completamente subjetiva, además que la relación entre los eventos antes de la crisis y el fenómeno de crisis están sujetos a la crítica de Lucas.¹

La literatura acerca de crisis y estrés financiero ha prestado poca atención a generar una medida contemporánea del estado actual en que se encuentra el sistema. Por el contrario, las crisis son usualmente clasificadas y medidas por simples variables binarias, y tratadas como fenómenos específicamente bancarios y/o del mercado cambiario, en los cuales se señala si se está en una crisis o no; un indicador de estrés financiero por otro lado representa un estado continuo, el cual describe las condiciones del sector en cada periodo de tiempo generando una foto actual del nivel de estrés contemporáneo que presenta el sistema. Dentro de los trabajos que han realizado una medida de estabilidad financiera

¹En el sentido de que con pleno conocimiento de dichos eventos, los agentes financieros pueden cambiar su comportamiento, al igual que las autoridades, los depositantes, etc.

se encuentran Hanschel y Monnin (2005) e Illing y Liu (2003). El problema de estas medidas es que no son derivadas de un modelo estructural de estabilidad financiera, y los resultados son realizados para dos casos específicos: Suiza y Canadá. Recientemente.

Desde una perspectiva diferente, Aspachs et. al (2006) elaboraron una medida de estabilidad financiera, sobre la base de un modelo de equilibrio general que introduce en la economía un sistema financiero, en donde existen agentes heterogéneos y probabilidad de incumplimiento. El principal aporte de este trabajo es que define de forma endógena una situación de estabilidad financiera en términos de variables relacionadas con el comportamiento de los bancos: utilidades y probabilidad de incumplimiento. Lo que ha mejorado la cuantificación de los modelos de equilibrio general con relación a estas dos variables.

Para el caso colombiano, no existe una medida o indicador que describa la situación del sistema financiero periodo a periodo. Lo cual genera una visión poco clara del nivel de estrés en que se encuentra el sistema y dificulta las labores de política y supervisión. De ahí el interés por desarrollar un indicador que permita monitorear el nivel de estrés del sistema financiero colombiano en el tiempo.

El índice de estrés financiero (IEFI) desarrollado en este estudio, es un índice continuo, de frecuencia mensual que tiene en cuenta las consideraciones de rentabilidad y probabilidad de incumplimiento desarrolladas en Aspachs et. al (2006). Para tal fin, se utilizan razones de capital, rentabilidad, de riesgo de crédito y de liquidez de varios tipos de entidades financieras en Colombia, tales como: banca comercial (BC), banca especializada en crédito hipotecario (BECH), compañías de financiamiento comercial (CFC) y cooperativas financieras (COOP). El objetivo es alcanzado generando y combinando la información obtenida de varios indicadores mediante algunas técnicas econométricas. Se debe destacar que uno de los principales aportes de este trabajo es que desarrolla un indicador de estrés por tipo de entidad, lo cual es de enorme relevancia en cuanto a la supervisión y/o monitoreo del sistema.

Asimismo las variables seleccionadas tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: la relevancia sistémica, la habilidad de éstas para reflejar el comportamiento de las entidades financieras, los análisis realizados en el sistema financiero colombiano, la periodicidad de las series y la disponibilidad de las mismas, además de los criterios que sugiere la literatura internacional. Al final las variables son agregadas por medio de ponderaciones para generar el índice.

El resto de este documento se divide en cinco secciones además de esta introducción. En la segunda sección se presentan algunos antecedentes y medidas adoptadas para generar indicadores de estrés financiero. En la tercera se describen las variables seleccionadas y se desarrollan los métodos propuestos para generar la conformación del índice. En la cuarta se analizan los resultados obtenidos para el sistema financiero y se replica el ejercicio para los distintos tipos de entidades que lo conforman. En la quinta sección se realizan algunos pronósticos para el índice considerando variables macroeconómicas. Finalmente en la sexta sección se incorporan algunos comentarios finales y conclusiones.

2. Marco Teórico

La gran mayoría de estudios empíricos que analizan el nivel de estrés para el sistema financiero se han venido desarrollando en la década más reciente dadas las crisis de los años ochenta y la crisis asiática de finales de los noventa. Las primeras aproximaciones abordaron el nivel de vulnerabilidad financiera a partir del análisis de los principales factores asociados con la detonación de las crisis bancarias sistémicas. En el estudio de Demirgüç-Kunt y Detragiache (1998) se realizó un análisis en una muestra tanto de países desarrollados como en desarrollo para el periodo de 1980 a 1994 bajo un modelo multinomial logit; el estudio mostró que las crisis tienden a generarse cuando el ambiente macroeconómico es débil, en general cuando el crecimiento económico es moderado y la inflación es alta. Por otro lado se analizó la relación entre la liberalización financiera y la fragilidad del sistema. Los resultados mostraron que la primera incrementa la probabilidad de una crisis bancaria, aunque en menor medida cuando el ambiente macroeconómico es sólido.

González-Hermosillo (1999) contribuyeron a la literatura de crisis bancarias sistémicas analizando el papel que tienen los factores macro y micro en las crisis bancarias. Para ello desarrollaron un modelo simple: quiebras bancarias basadas en riesgos de crédito, de mercado y de liquidez; en donde la probabilidad de quiebra de los bancos fue estimada a partir de un modelo logit para datos panel. El análisis se desarrolló para cinco escenarios de crisis bancarias. El documento encontró que bajos niveles de capital y de provisiones sobre cartera vencida son indicadores líderes de estrés financiero. Bajo una metodología similar Demirgüç-Kunt y Detragiache (1998) exploraron como el análisis estadístico de las crisis bancarias sistémicas pasadas, puede ser usado para construir herramientas de monitoreo que podrían implementarse para el desarrollo de medidas cualitativas de la vulnerabilidad del sistema bancario. El documento sugiere los sistemas de alerta temprana (EWS)² que generan una señal en caso que la probabilidad de una crisis exceda cierto umbral, en el marco del modelo logit multivariado.

Kaminsky (1998), por su parte, desarrolla un estudio para las crisis en el mercado cambiario, y concluye que la mayoría de las crisis se generan en economías frágiles, con signos de estrés forjados por varios sectores de la economía. Esto hace que el grado de vulnerabilidad de la economía sea un indicador líder de crisis de mercado cambiario. En el documento se construye un sistema de alerta temprana basado en las regularidades empíricas observadas en una muestra de 20 países para el periodo 1970-1995, la autora propone cuatro diferentes formas de conformar un indicador líder y lo evalúa en términos de precisión de pronóstico y calibración. Al final se prueba el indicador líder para la crisis asiática. Los resultados mostraron que estas economías estaban en un nivel muy frágil, con claros signos de estrés alrededor de 18 meses antes del colapso cambiario, lo cual infiere que la crisis pudo haber sido predecida.

Un análisis conjunto de la literatura fue desarrollado por Bell y Pain (2000). El artículo señala que existen dos enfoques en la literatura para el análisis de las crisis y del

²Por sus siglas en ingles Early Warning System.

estrés financiero: el primer enfoque desarrolla modelos que utilizan indicadores macroeconómicos como variables explicativas de las crisis bancarias; mientras que el segundo enfoque trata de medir como los factores microeconómicos (características específicas de la banca) pueden contribuir a dichas crisis. El artículo también reconoce dos enfoques metodológicos para desarrollar los indicadores de estrés financiero: enfoque de señales ³ y modelos de respuesta cualitativa ⁴. El primer enfoque compara la información generada por los indicadores en los periodos de calma en contraste con los periodos de crisis, analizando los errores de tipo I y II generados. Por otro lado los modelos de respuesta cualitativa emplean regresiones en aras de estimar la relación entre varios indicadores potenciales y una variable discreta identificada, como por ejemplo una quiebra bancaria o una crisis bancaria.

Los índices de estrés financiero como tal, en los últimos años, ha empezado a ser ampliamente desarrollados como alternativa para evaluar la calidad de los sistemas financieros en alguno países. Algunos ejemplos de estos son los índices construidos para Canadá, Suiza y Estados Unidos en los trabajos de Illing y Liu (2003), Hanschel y Monnin (2005), y Puddu (2008), respectivamente. Para el caso de Canadá los autores desarrollaron un índice que provee una medida ordinal del nivel de estrés financiero del sistema. El índice se construye usando varias técnicas, incluidas el análisis de factores, análisis econométrico de corte transversal y modelos GARCH. La elección de las variables surge de una encuesta realizada a los intermediarios financieros y a expertos. De manera similar en el documento de Hanshel y Monin (2005), los autores proponen desarrollar un índice de estrés que permita resumir la situación actual del sector bancario suizo en una medida y que permita generar pronósticos. Uno de los principales resultados de su modelo es que los desbalances macroeconómicos tienen una gran influencia en el nivel de estrés futuro del sector bancario suizo además sugiere que estos desbalances generalmente se dan con anticipación a los incrementos en el nivel de estrés del sistema.

Para el caso de los Estados Unidos, Puddu (2008), desarrolla una gran variedad de índices implementando distintas metodologías; entre ellas, índices basados en el enfoque de señales y en estimaciones a partir de modelos de datos de conteo. En el trabajo se comparan sus resultados con metodologías basadas en el método de igualdad de varianza ⁵ y con el de análisis de factores. Las principales diferencias en los resultados de los ejercicios están en términos del nivel de estrés detectado por el índice, pero el ciclo y las formas de los índices son similares. Las variables utilizadas para el índice son en general razones financieras de rentabilidad y riesgo crediticio. Al final del documento, Puddu desarrolla algunos pronósticos del índice empleando una regresión la cual tiene como variables explicativas algunas variables macro.

³Signalling approach.

⁴Qualitative response models.

⁵Variance equal approach

3. Metodología

Tal como se mencionó anteriormente, el objetivo de este trabajo es desarrollar un índice continuo y cuantificable, con la capacidad de determinar cierto nivel de estrés del sistema financiero. Se tienen dos elementos claves a la hora de alcanzar este objetivo: primero la adecuada elección de las variables y segundo las ponderaciones que tiene cada una de estas a la hora de componer el índice. En las siguientes subsecciones se muestran las variables y los datos a utilizar como también se determinan las ponderaciones adecuadas definidas a través de diversas aproximaciones.

3.1. Datos

Las series empleadas corresponden a datos mensuales para el periodo que inicia en enero de 1995 hasta noviembre de 2008 (un total de 167 observaciones), las cuales incluyen datos de varias fases del ciclo económico y crediticio. Los datos abarcan las 170 entidades financieras existentes durante algún momento del periodo de análisis, clasificadas en bancos comerciales (BC), bancos especializados en crédito hipotecario (BECH), compañías de financiamiento comercial (CFC) y cooperativas de financiamiento (COOP). La muestra no es homogénea en el periodo de análisis dadas las adquisiciones, fusiones, quiebras y nacimientos de entidades financieras.

Las variables a utilizar en la construcción del índice son las siguientes : retorno sobre activos (ROA) , retorno sobre patrimonio (ROE), cartera vencida ⁶ sobre cartera total (CV/CT), cartera improductiva ⁷ sobre cartera total (CI/CT), margen de intermediación ex-post (MI), pasivos líquidos sobre activos líquidos (PL/AL), fondos interbancarios sobre activos líquidos (FI/AL), la razón de pasivos no cubiertos (RPNC) y finalmente el número de entidades bajo un alto nivel de estrés (Estrés)⁸ para cada periodo. El resumen de los datos se muestra en el cuadro 1.

El ROA es utilizado como indicador de rentabilidad relativo al total de activos de la entidad. Esta razón da una idea de qué tan eficiente se es al usar los activos para generar ganancias. Por su parte el ROE es una razón que genera información acerca de la rentabilidad de las entidades teniendo en cuenta el patrimonio; en otras palabras señala qué tan eficiente es la entidad a la hora de utilizar los recursos de los inversionistas. El margen de intermediación es una medida de rentabilidad en la cual se evalúa la utilidad de los intermediarios financieros resultante de sus actividades de intermediación. Básicamente es la diferencia entre intereses cobrados a los prestatarios y los intereses pagados a los depositantes. Por otro lado el resto de las variables resumen la fragilidad de las entidades del sistema financiero: la cartera vencida y la cartera improductiva como proporción de la cartera total (CV/CT, CI/CT) son indicadores de riesgo de crédito mientras que las razones de pasivos líquidos sobre activos líquidos (PL/AL),

⁶La cartera vencida es aquella que presenta un incumplimiento igual o superior a treinta días.

⁷Son aquellos préstamos que no generan ingresos financieros al establecimiento de crédito.

⁸Mas adelante se especifica en que consiste esta variable (Ver Anexo A, página 30).

Cuadro 1: Resumen de datos

Variable	Obs	Media	Desviación Estandar	Max	Min
ROA	167	0.014	0.0216	0.0397	-0.04
ROE	167	0.114	0.1824	0.3287	-0.31
CV/CT	167	0.073	0.0340	0.1630	0.03
CI/CT	167	0.056	0.0305	0.1336	0.02
MI	167	0.085	0.0096	0.1114	0.06
PL/AL	167	0.261	0.1107	0.7071	0.05
FI/AL	167	0.087	0.0425	0.2017	0.02
RPNC	167	-0.1542	0.0875	0.0013	-0.31
ESTRÉS	167	11.93	12.84	44	0

Fuente: Superintendencia financiera. Cálculos de los autores.

fondos interbancarios sobre activos líquidos (FI/AL) además de la razón de pasivos no cubiertos (RPNC) son indicadores de riesgo liquidez. Cabe mencionar, que las variables concernientes al riesgo de mercado no fueron consideradas en este trabajo dado que no coinciden con la totalidad del periodo de análisis de este documento. Finalmente la variable *Estrés* indica el numero de entidades financieras que no cumplen los criterios de estabilidad para cada periodo. (Ver Anexo A, página 30)

Todos estos indicadores tratan de satisfacer las consideraciones de la literatura internacional, los análisis realizados en el sistema financiero colombiano, la relevancia sistémica, la habilidad de las variables para reflejar el comportamiento de las entidades financieras, la periodicidad de las series y la disponibilidad de las mismas. Estos fueron los criterios usados para seleccionar las variables adecuadas en el desarrollo del IEFI.

3.2. Combinando las variables en un único índice

La manera en que se combinan las variables para generar un índice constituye la parte más difícil del proceso, dado que esto determina el impacto que va a generar cada variable en el índice de estrés. La dificultad de establecer las ponderaciones de las variables yace en la falta de un indicador de referencia que permita verificar la precisión de los pesos y hacer pruebas con estos. Varias son las metodologías utilizadas para ponderar las variables, en este documento se consideraron las siguientes: el método de igualdad de varianzas, componentes principales, y en general aproximaciones cualitativas con regresiones ZIP y ZIBN⁹. Para el caso colombiano se dejaron por fuera las técnicas basadas en el enfoque de señales dado que en el periodo de análisis solo se cuenta con una crisis bancaria, lo cual no nos permite realizar un buen estudio bajo dicha aproximación ya que la técnica se basa en los periodos de crisis y en ciertos umbrales para evaluar las

⁹En Puddu (2008) se desarrollan distintas aproximaciones cualitativas donde sobresalen las regresiones Zero-Inflated Poisson (ZIP) y Zero-Inflated Binomial Negative (ZIBN).

variables que determinan la inestabilidad.

De esta forma el índice queda determinado por la ponderación de las variables seleccionadas. En la ecuación 3.1, se muestra el parametro ω_i que señala el peso que debe tener cada variable en el índice. Al final el índice esta conformado por la adición de las variables ponderadas.

$$IEFI_t = \omega_1 ROA + \omega_2 ROE + \omega_3 \frac{CV}{CT} + \omega_4 \frac{CI}{CT} + \omega_5 MI + \omega_6 \frac{PL}{AL} + \omega_7 \frac{FI}{AL} + \omega_8 RPNC \quad (3.1)$$

3.2.1. Igualdad de varianzas

Por su facilidad, esta técnica es la más usada en la literatura de índices de estrés. Su primer paso consiste en estandarizar las variables para expresarlas en una misma unidad y luego agregarlas usando idénticos ponderadores. La fórmula del índice es la siguiente:

$$I_t = \sum_{i=1}^k \frac{X_{i,t} - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (3.2)$$

Donde k es el número de variables que conforman el índice, \bar{X}_i es la media de la variable i que lo compone y σ_i su desviación estándar. Después el índice es estandarizado para expresarlo en términos de su media y varianza.

Una importante deficiencia de esta aproximación es que genera una misma ponderación para todas las variables estandarizadas que conforman al índice, lo cual no es necesariamente correcto pues pueden existir variables que tengan mayor incidencia en el estrés financiero, dependiendo de la vulnerabilidad del sistema y de la solidez de las entidades. A modo de ejemplo se esperaría una incidencia distinta en el nivel de estrés tanto de un episodio de riesgo de crédito como un episodio de riesgo de liquidez. Bajo esta metodología las variables se supone que están normalmente distribuidas lo cual podría convertirse en una limitación adicional de esta aproximación.

A pesar de dichas limitaciones, esta es una técnica muy utilizada como punto de partida para generar un índice de estrés financiero, dada su facilidad y su buen ajuste cuando se compara con técnicas más complejas. Illing y Liu (2003), Hanshel y Monin (2005), y Puddu (2008) utilizan esta metodología como punto base para desarrollar uno de sus índices.

3.2.2. Componentes principales

A diferencia del método de igualdad de varianza, esta metodología identifica patrones en los datos, expresándolos de tal manera que se resalten sus similitudes y diferencias. La idea principal detrás de esta metodología es obtener una serie, en nuestro caso el índice, a partir de la combinación de las variables seleccionadas, de tal manera que dicha combinación explique al máximo la varianza conjunta de las variables. El análisis a partir de componentes principales (CP) utiliza las correlaciones entre las variables para desarrollar un pequeño grupo de componentes que empíricamente resumen la correlación entre estas.

Esta metodología es comparable al análisis de factores principales (AFP) utilizados en muchos documentos que tratan de generar índices de estrés, pero difiere en que CP supone que toda la variabilidad generada por los indicadores debe ser tenida en cuenta, mientras que AFP considera la varianza que es común entre las variables. La ventaja de estos métodos es que permiten hallar patrones en los datos y comprimir los datos en un solo indicador (reduciendo sus dimensiones) sin perder mucha información.

Para el caso Colombiano es posible utilizar esta aproximación porque las variables tenidas en cuenta tienen un comportamiento con un ciclo similar, lo que le permite a la aproximación tener un mejor ajuste.

3.2.3. Modelos de respuesta cualitativa

En contraste con las técnicas descritas anteriormente, esta metodología emplea estimaciones econométricas para modelar la relación entre las variables indicadoras de estrés (explicativas) y la variable dependiente generalmente definida como número de bancos en quiebra o crisis. Se supone que las variables que tienen incidencia en las crisis bancarias también la tienen en el nivel de estrés financiero. A partir de los resultados de esta estimación se infieren las ponderaciones de dichas variables explicativas en el índice.

Es importante resaltar que la variable dependiente se construye a partir de información cualitativa que surge de la ocurrencia de las crisis financieras. En la mayoría de los casos dicha variable está conformada por observaciones discretas y se supone que se deriva de una función de probabilidad continua; dependiendo de las características de la variable, se pueden suponer distintas especificaciones de la función de probabilidad.

Muchos trabajos empíricos desarrollan distintos métodos econométricos, en los cuales el número de crisis bancarias es modelado en función de un grupo de variables explicativas, y entonces los resultados de la regresión son usados para generar las ponderaciones que se le asignan a cada variable. Lo anterior permite inferir que existe una relación positiva y monótona entre el número de bancos en crisis (observable) y el nivel de estrés en el sistema (no observable). De esta forma es posible concluir que si una variable afecta la cantidad de bancos en crisis, en una dirección en particular, lo mismo sucede con la relación existente entre la variable y el índice de estrés. Es por esto que los resultados

de las regresiones basadas en el número de entidades bajo altos niveles de estrés, son usados para inferir la relación existente entre las variables y el índice.

$$y_t = F(X_{it}) + \varepsilon_t \quad (3.3)$$

En la ecuación 3.3, se establece la relación existente entre el nivel de estrés financiero (y_t) y una función de la cantidad de entidades bajo estrés (X_{it}) más un termino de error aleatorio (ε_t). A partir de estos modelos¹⁰ se obtienen los coeficientes estimados que permitirán generar las ponderaciones¹¹ que toma cada variable en el indicador, de tal manera que las variables más relevantes en el modelo obtienen una mayor ponderación en el índice.

Variable dependiente

Para el caso colombiano, fue necesario construir una variable dependiente capaz de referenciar la cantidad de entidades del sistema que presentaron una situación crítica en un periodo dado. Para ello se creó una matriz que evalúa cada entidad en el tiempo bajo ciertos criterios de rentabilidad, liquidez y riesgo de crédito. La idea fue generar un contador que permitiera reconocer las entidades que estuvieran por debajo de cierto umbral de estabilidad; los umbrales fueron establecidos *ad hoc*, considerando en algunos casos los valores extremos presenciados en la crisis financiera de finales de los noventa. Al final se genera una variable que define la cantidad de entidades bajo estrés por periodo (ver Figura 1 Panel A).

Observando la distribución de las entidades financieras bajo estrés durante el tiempo, podemos observar que esta distribución no es normal, de hecho los datos están sesgados, es decir amontonados hacia la izquierda. De la misma manera si analizamos la frecuencia de la distribución de entidades bajo estrés podemos ver la alta frecuencia que tienen los ceros en la distribución, dado que los periodos de estabilidad financiera son los usuales y por ende hay muchos periodos en los cuales no se registran entidades bajo estrés (ver Figura 1 Panel B).

Estimación del modelo para datos de conteo

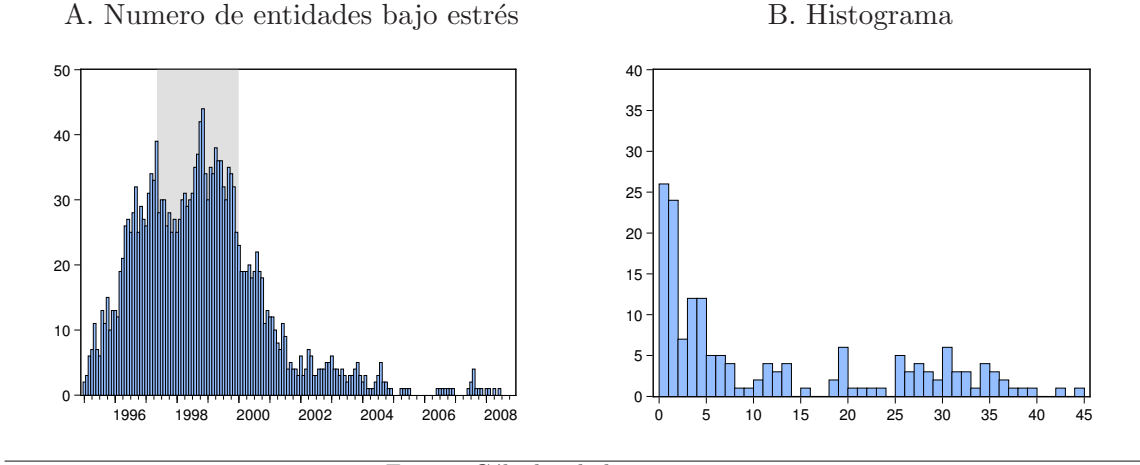
Dada la naturaleza de la variable dependiente, utilizar métodos econométricos que suponen normalidad como los MCO¹² es inapropiado, por lo cual debe suponerse otro tipo de distribución. Una de las distribuciones sugeridas para la variable dependiente es la distribución *Poisson*, dado que esta variable está conformada por datos de conteo. Debe

¹⁰El trabajo de Puddu (2008) sugiere la utilización de modelos de datos de conteo para generar el índice de estrés financiero.

¹¹Para determinar las ponderaciones de las variables explicativas en el modelo nos enfocaremos en la razón de tasas de incidencia (IRR)(Por sus siglas en ingles) descontada con un criterio de precisión del estimador para generar el vector de ponderadores óptimos.

¹²Mínimos Cuadrados Ordinarios.

Figura 1: **Variable dependiente**



Fuente: Cálculos de los autores.

recordarse que uno de los principales supuestos de esta distribución es que su media y varianza son iguales. Si este no es el caso, entonces las observaciones están muy dispersas con respecto al modelo *Poisson* (Cuadro 1). Una de las posibles razones por la cual la varianza excede la media es que los datos presentan gran cantidad de ceros.

Por otro lado la distribución *Binomial Negativa* es una opción a la hora de estimar el modelo con este tipo de datos, ya que puede ser usada como una alternativa a la distribución *Poisson* cuando la varianza del modelo es mayor que su media. En general dado el exceso de ceros en la serie, la mejor manera de modelar los datos es a través de la metodología *Zero-Inflated Poisson* (ZIP) o *Zero Inflated Binomial Negative* (ZIBN). Ambas tienen en cuenta la gran cantidad de ceros en la distribución de la variable dependiente lo cual hace a estos modelos más pertinentes para este tipo de análisis.

Este tipo de aproximaciones desarrollan las estimaciones bajo dos regímenes distintos y luego los combina, donde la primera especificación es necesaria para definir los elementos que caracterizan los datos con valor cero en la variable dependiente (*Parte Inflated*). Mientras que la segunda especificación se requiere para definir las variables que afectan la parte distinta de ceros en dicha variable (*Parte No Inflated*). En la ecuación 3.4 se especifican los dos regímenes:

$$y_t = \begin{cases} G(Z_{it}) + \varepsilon_t & \text{si } y_t = 0, \\ F(X_{it}) + \eta_t & \text{si } y_t > 0, \end{cases} \quad (3.4)$$

donde la variable dependiente (y_t) es el número de entidades financieras bajo un alto nivel de estrés; $G()$ y $F()$ son funciones que relacionan el vector de variables explicativas con la variable dependiente; Z es un vector de variables conformado por los retornos

sobre activos (ROA) y la razón de pasivos no cubiertos (RPNC) en cada periodo de tiempo. X se define como un vector de variables que incluye los retornos sobre patrimonio (ROE), la cartera vencida sobre cartera total (CV/CT), la cartera improductiva sobre cartera total (CI/CT), el margen de intermediación ex-post (MI), la razón de pasivos líquidos sobre activos líquidos (PL/AL) y finalmente los fondos interbancarios sobre los activos líquidos FI/AL. Por su parte ε_t y η_t representan el termino de error de cada régimen. No existe un criterio claro para la especificación de las variables que deben contener los vectores Z y X del modelo expresados en la ecuación 3.4. En esta metodología, la composición de los vectores Z dependió de dos factores: en primer lugar se tuvieron en cuenta las variables que tienen mayor relevancia en los periodos de estabilidad y en segundo lugar las variables que podrían generar problemas de multicolinealidad si se estimasen en el mismo régimen ¹³. Todas las variables están rezagadas un periodo en aras de evitar problemas de endogeneidad.

Para la parte *inflated*, un modelo Probit es estimado para caracterizar los excesos de zeros de la variable dependiente. En cuanto a la parte (*no inflated*) del modelo las estimaciones ZIP y ZINB están basadas en regresiones Poisson y Binomial Negativa respectivamente. Como se mencionó anteriormente este segundo régimen es necesario para definir los elementos que caracterizan esta parte del modelo que no está afectado por los excesos de zeros de la variable dependiente.

Los resultados de las estimaciones del modelo ZIP y ZINB se reportan en el cuadro 2. El signo resultante que acompaña cada coeficiente estimado fue igual en ambas aproximaciones. Para el caso del ROA en la parte *Inflated* ($y = 0$) del modelo, el signo es positivo, lo cual es consistente con lo esperado; si en el periodo t el sistema presenta un mayor ROA entonces se esperaría con una mayor probabilidad que las entidades no presentasen niveles de estrés. Para el caso del RPNC ¹⁴, el signo estimado resulta contra intuitivo dado que señala que ante un aumento en este indicador ¹⁵aumenta la probabilidad de un escenario con cero entidades bajo estrés.

Cuando se analizan los signos resultantes de los coeficientes estimados de la parte *No Inflated* ($y > 0$), se tiene que el coeficiente asociado al ROE presenta signo negativo, lo que indica que ante un aumento en el ROE en el periodo t , la probabilidad de tener entidades financieras bajo estrés es menor. Con respecto a la cartera vencida sobre cartera total (CV/CT), el signo señala una relación directa entre esta variable y la probabilidad de encontrar entidades bajo estrés financiero. Con respecto a la cartera improductiva el signo no es el esperado, dado que la estimación sugiere un signo negativo lo cual es contraintuitivo, pues sugiere que ante un aumento de la cartera improductiva como proporción de la cartera total, la probabilidad de encontrar entidades con altos niveles de estrés disminuye.

¹³Existía una alta correlación entre el ROE y el ROA, asimismo entre el RPNC con la razón FI/AL.

¹⁴Para mayores detalles del cálculo del RPNC, ver Reporte de Estabilidad Financiera. Banco de la República.

¹⁵La razón de pasivos no cubiertos (RPNC) señala una mejor situación de liquidez cuando su valor tiende a valores negativos.

Cuadro 2: Modelos Estimados a partir de datos de conteo

	ZIP		ZINB	
	y =0	y >0	y =0	y >0
ROA	4.182*** (1.086)		5.800*** (2.076)	
ROE		-0.013*** (0.004)		-0.002 (0.007)
CV		0.234*** (0.062)		0.496*** (0.147)
CI		-0.428*** (0.057)		-0.584*** (0.127)
MI		0.784*** (0.046)		0.858*** (0.091)
PL-AL		0.013*** (0.002)		0.0135** (0.006)
FI-AL		0.022*** (0.008)		0.033*** (0.018)
RPNC	0.118*** (0.043)		0.140** (0.062)	
Constante	-11.581*** (2.937)	-4.114*** (0.328)	-16.824*** (6.072)	-6.221*** (0.730)
Lalpha			-1.594 (0.196)***	
Vuong Test	4.2***		2.42***	
obs, y=0	26		26	
obs, y>0	140		140	
Total Obs	166		166	

ZIP: Zero Inflated Poisson

ZINB: Zero Inflated Negative Binomial

***Significativo al 1 %, ** Significativo al 5 %

Para el caso del margen de intermediación (MI) no es claro el signo esperado del coeficiente asociado. Por un lado se sabe que cuando este indicador de rentabilidad es alto es porque el sistema tiene un alto nivel de utilidades y por ende un bajo nivel de estrés. Asimismo, el MI puede ser un indicador de la competitividad del sector bancario: un bajo nivel de MI podría implicar una fuerte competencia entre los bancos, entonces mayor competencia presiona a los bancos a disminuir sus criterios en el momento de otorgar crédito y así el estrés financiero podría aumentar. Estos dos argumentos implican que un mayor nivel de MI conlleva a un menor nivel de estrés bancario. Sin embargo, este argumento puede ser refutado; el MI puede ser afectado por los requerimientos de capital supervisados por el regulador. Existen escenarios en que las medidas regulatorias más estrictas podrían disminuir el MI y a su vez generar un sistema financiero más seguro y más robusto frente a las crisis bancarias futuras. Dado este argumento, un menor MI

no necesariamente implica un nivel más alto de estrés en el sistema. En un escenario en el que el ente regulador aumente el porcentaje de capital regulatorio mínimo exigido, los costos de las entidades bancarias se incrementarían por la necesidad de apalancarse más para cumplir con las exigencias de los accionistas, lo que podría afectar las tasas pasivas y activas de tal forma que disminuya el MI, dependiendo de la sensibilidad de la demanda ante los cambios en las tasas. Asimismo, con requerimientos de capital más altos se tiene un sistema financiero más robusto, lo que se traduce en menores niveles de estrés bajo condiciones normales.

Otro escenario posible, es el evidenciado para el caso colombiano. Perez Reyna et. al (2008) estudiaron los efectos generados por un aumento del encaje bancario sobre la estabilidad financiera usando un modelo DSGE ¹⁶. Los resultados sugieren que en Colombia, tras una medida de regulación transitoria, en este caso el aumento del encaje, el margen de intermediación se incrementa en el trimestre siguiente, lo que se traduce en mayores beneficios para los bancos. Sin embargo, tras la medida, la oferta de crédito se contrae generando una mayor tasa activa incrementando de esta manera la carga financiera de los hogares. De ahí que después del segundo trimestre de haber establecido la medida, los beneficios generados por los bancos disminuyen hasta el décimo trimestre donde alcanzan su nivel de largo plazo. Cabe aclarar que este análisis se realiza con un choque transitorio en el periodo t , definido como el aumento del encaje.

En este documento, dado el aumento en el MI durante el periodo de crisis y el signo estimado por el modelo, se supone una relación positiva entre el MI y la probabilidad de encontrar entidades en niveles estrés en el periodo t . Es decir cuando el margen de intermediación se incrementa, la probabilidad de encontrar entidades con niveles de estrés aumenta.

Por otro lado, las razones de liquidez (PL/AL) y (FI/AL) tienen una relación directa con el nivel de estrés financiero. Los signos que acompañan el coeficiente asociado son positivos, lo cual es consistente con lo esperado. Cuando estas razones tienen un valor muy alto, indican que hay menos activos líquidos para cubrir las obligaciones más urgentes, lo que permite inferir una menor liquidez. Ambos modelos, tanto el ZIP como el ZINB sugieren que ante un aumento en las razones de liquidez, la probabilidad de tener en el sistema entidades bajo estrés aumenta.

Al final del cuadro 2 se presenta la prueba de *Vuong (1989)*, en donde se compara los modelos ZIP y ZINB con el modelo estándar *Poisson* y *binomial negativo* respectivamente. Dado que el valor z es positivo y significativo, la prueba de *Vuong* muestra que los modelos *Zero-Inflated* tienen un mejor ajuste que el modelo estándar (*Poisson* o *Binomial negativo*).

Por otro lado debe señalarse que los modelos de datos de conteo estándar suponen independencia condicional en las realizaciones, de ahí surge una de las mayores críticas de este tipo de modelos cuando se utilizan datos de series de tiempo (Ver Gurmu y Trivedi (1994)). Existen otros tipos de modelos que podrían utilizarse para aproximar

¹⁶Modelo de equilibrio general dinámico estocástico por sus siglas en inglés.

los determinantes de las crisis bancarias o de entidades en estrés sin presentar dicha limitación. Para el caso Colombiano, Gomez-Gonzalez y Kiefer (2009) desarrollaron un *modelo de duración* para explicar las quiebras bancarias a través de determinantes específicos de la banca. En el documento los autores identificaron los determinantes de las quiebras bancarias durante la crisis financiera en Colombia. Los resultados sugieren que indicadores de solvencia, rentabilidad y de riesgo de crédito tienen un alta incidencia; los signos de los coeficientes asociados son similares al modelo propuesto en este documento.

Ponderaciones fijas basadas en la razón de tasas de incidencia (IRR)

El desarrollo de la metodología anterior implica que los coeficientes estimados no pueden ser interpretados directamente como los efectos marginales de las variables explicativas en la variable dependiente. Para hallar el impacto generado en la variable dependiente, se calcula la razón de tasas de incidencia (IRR) de cada variable explicativa de la parte *no inflated*, esta razón se define como el exponencial del coeficiente estimado (Ver Anexo B, página 33)

$$IRR \equiv \exp(\beta_i) \quad (3.5)$$

El *IRR* representa la razón del numero esperado de entidades en estrés en el periodo $i = z + 1$ e $i = z$, manteniendo el resto de variables constantes. En otras palabras representa en términos relativos, cuanto cambia la variable dependiente por una unidad de cambio de la variable explicatoria i , manteniendo el resto constante. Esta razón es utilizada para la parte Poisson o Binomial negativa según sea el caso. Por otro lado para la parte Probit, en busca de obtener valores comparables con los IRR es necesario re-escalar los coeficientes estimados, definiendo una variable ρ . (Ver Anexo B, página 34). Al final estos indicadores permitirán generar las ponderaciones de cada variable asociada.

Después de obtener los IRR y ρ de los coeficientes asociados a las variables explicativas, se hace necesario crear una razón que involucre estos indicadores de impacto con su precisión, para ello se utiliza la desviación estándar de cada razón para generar un ponderador que tenga en cuenta la magnitud de los IRR y ρ , y a la vez su precisión. La precisión de las razones de impacto ,medida con la desviación estándar, es una función de la precisión del coeficiente estimado ¹⁷. Para calcular dichas desviaciones se hace necesario utilizar el *Método Delta*¹⁸ (Ver Anexo C).

¹⁷Para los IRR y ρ , las desviaciones estándar se definen como $se(IRR(\hat{\beta}_i))$ y $se(\rho(\hat{\beta}_i))$ respectivamente

¹⁸Básicamente con el método delta se expande la función de una variable aleatoria alrededor de su media. Usualmente se utiliza la aproximación de Taylor de primer orden, y entonces se halla la varianza.

$$\varphi_i = \begin{cases} \frac{IRR(\hat{\beta}_i)}{1+se(IRR(\hat{\beta}_i))} & \text{Modelo Poisson ó Binomial Negativo,} \\ \frac{\rho(\hat{\beta}_i)}{1+se(\rho(\hat{\beta}_i))} & \text{Modelo Probit.} \end{cases} \quad (3.6)$$

Donde φ_i converge a IRR ó ρ cuando el error estándar tiende a cero.

El siguiente paso es hallar las ponderaciones de las variables explicativas, para ello debemos agregar todos las razones de tasas de incidencia y los coeficientes re-escalados de la parte Probit, para finalmente conocer el peso que genera cada uno en el total.

Se define τ como la suma de los valores absolutos de la variable φ_i :

$$\tau = \sum_{i=1}^p |\varphi_i| \quad (3.7)$$

Finalmente se calculan los pesos individuales w_i como la razón entre φ_i y τ . El vector de ponderaciones generado se reporta en el cuadro 3, donde se compara con las anteriores metodologías.

$$\omega_i = \frac{|\varphi_i|}{\tau} \quad (3.8)$$

Este modelo permite generar las ponderaciones óptimas de las variables en el índice, transformando los coeficientes asociados de las regresiones con las ecuaciones anteriores.¹⁹ Al final a partir de estas tres metodologías (Igualdad de varianza, Componentes principales y Regresiones *Zero Inflated Binomial Negative*) se generaron entonces las ponderaciones de las variables que conforman el índice. El desarrollo de estas distintas metodologías en conjunto, permiten reducir las limitaciones que se generarían si se desarrollasen los ponderadores del índice bajo una sola técnica.

Bajo las distintas metodologías se construyeron índices que presentaron un comportamiento muy similar, y que para el caso de la metodología de componentes principales y modelos de datos de conteo (ZINB) dieron una alta ponderación a las razones de rentabilidad y de riesgo de crédito. En el cuadro 3, se presentan las ponderaciones para el método de igualdad de varianza, componentes principales y modelos *Zero Inflated Binomial Negative*.²⁰

¹⁹Las limitaciones para el caso colombiano radican en que bajo esta metodología las variables seleccionadas presentan algún grado de multicolinealidad, por lo cual la inferencia a partir de los estimadores puede estar sesgada, pero los estimadores son insesgados y consistentes. De igual manera se realizó un ejercicio eliminando las variables que podrían generar multicolinealidad y los resultados sugirieron un índice con un comportamiento muy similar al anterior, aunque evidencia grandes variaciones en su nivel.

²⁰Los resultados del modelo ZIP no se presentaron en la tabla dado que los resultados son similares a los del modelo ZINB.

Cuadro 3: **Ponderaciones de las variables en el índice**

	Igualdad de Varianzas(%)	Componentes Principales(%)	ZINB (%)
ROA	12.50	17.53	7.65
ROE	12.50	17.79	11.75
CV	12.50	18.01	15.69
CI	12.50	15.81	6.17
MI	12.50	12.79	23.03
PL	12.50	6.55	11.95
FI	12.50	7.41	12.03
RPNC	12.50	4.12	11.73

Fuente: Datos Superintendencia financiera. Cálculos de los autores.

4. Índice de Estabilidad Financiera IEFI

En la sección anterior se explica la obtención de distintos vectores de ponderadores, que serán utilizados para componer el índice. Los métodos utilizados fueron la aproximación de igualdad de varianzas, los componentes principales y ponderaciones a partir de modelos de datos de conteo (ZIP, ZINB). Dado el vector de ponderaciones, el último paso a tener en cuenta para componer el índice es el signo que deben llevar los distintos indicadores que lo conforman. Para ello nos basaremos en la intuición económica. En este orden de ideas el ROA y el ROE se ponderan con signo negativo dada su relación inversa con los episodios de estrés (a menor rentabilidad mayor estrés), el resto de variables se ponderan con signo positivo dada su relación directa con los episodios de estrés. Ante un aumento en los indicadores de riesgo de crédito (CV/CT y CI/CT) se espera un mayor nivel de estrés; lo mismo sucede para el caso de las razones de liquidez (PL/AL; FI/AL y RPNC): ante un aumento en estas razones se espera un incremento en el indicador de estrés financiero. Con respecto al margen de intermediación (MI) como habíamos mencionado anteriormente, su incidencia es ambigua en el nivel de estrés; para el caso colombiano supondremos una relación positiva entre esta variable y el nivel de estrés por las razones mencionadas en la sección anterior.

La información generada por el Índice de Estabilidad Financiera (IEFI) es fácil de interpretar. Dado que cada variable y el mismo índice han sido estandarizados con su respectiva media y varianza, entonces el nivel de estrés del periodo actual puede ser comparado con el histórico en términos de desviación de la media. Los valores del índice mayores a cero equivalen a periodos de stress financiero mayores que el promedio, mientras que valores negativos indican periodos de mayor estabilidad que en el promedio. De la misma manera los crecimientos del índice en determinado periodo de tiempo también proveen información útil acerca de la evolución del nivel de estrés en el periodo de análisis.

Los distintos métodos utilizados para generar las ponderaciones han permitido desarro-

lar tres índices distintos. Estos índices presentan un comportamiento casi idéntico, pero difieren en términos del nivel de estrés. En general, a partir de estos se pueden desarrollar las mismas conclusiones para el nivel de estrés del sistema financiero. Por otro lado, medir la precisión del índice es un trabajo difícil, dado que por definición el nivel de estrés financiero no es una variable conocida, por lo cual lo sugerido en la literatura internacional es comparar los niveles de estrés definidos por el índice con las evaluaciones históricas de las crisis financieras. Se espera que en las crisis financieras²¹ el índice presente los niveles de estrés financiero más altos.

La Figura 2, muestra la evolución del índice de estabilidad financiera para Colombia en el periodo que va de 1995 a 2008 con una frecuencia mensual. En los periodos en que el índice está por encima de cero se infiere que el sistema se encuentra en un estado de estrés superior al promedio histórico, por otro lado cuando el índice se encuentra por debajo de cero, el sistema se encuentra en un nivel de estrés inferior al promedio histórico. El índice esta expresado en unidades que representan las desviaciones con respecto a su media.

Por definición el IEFI captura el nivel de estrés contemporáneo y no se espera que el índice como tal tenga poder de predicción para futuros periodos de estrés o crisis. Para términos de política es muy útil generar modelos que permitan pronosticar este nivel de estrés, en este caso el IEFI podría utilizarse como variable dependiente.

Una de las características que debe tener el índice, para comportarse correctamente, es la capacidad de detectar los eventos importantes. Para el caso colombiano, la crisis económica de finales de los noventa es capturada con gran anticipación por el IEFI. Se deduce de la Figura 2 que el nivel de estrés financiero sugerido por el índice toma una senda creciente desde finales del año 1997 y alcanza su pico máximo a finales del año 1999 lo cual es congruente con las observaciones y definiciones realizadas de la crisis colombiana de finales de los noventa. El índice también reconoce periodos con bajos niveles de estrés, periodos de gran estabilidad financiera, como lo fueron los años 2005 y 2006.

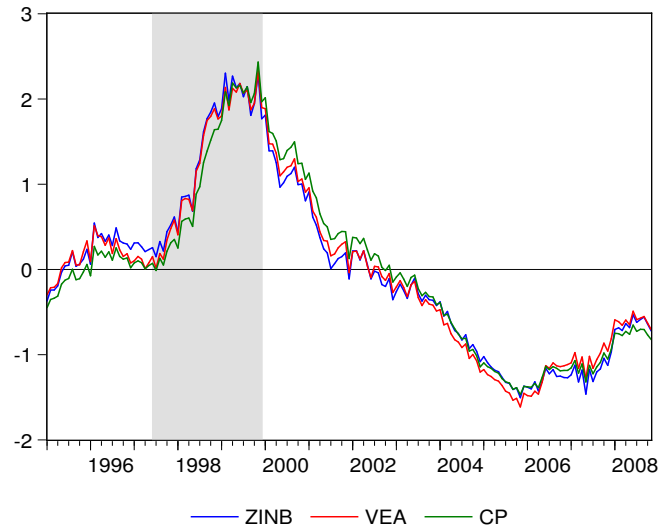
Índice de estrés (IEFI) por tipo de entidad

Una de las principales diferencias de este trabajo con la literatura existente, radica en que dada la disponibilidad de datos, para el caso colombiano se logra desarrollar un índice de estrés tanto por tipo de entidad como por entidad. Las metodologías empleadas son la igualdad de varianzas y los componentes principales; los modelos de datos de conteo no son utilizados en este apartado dado que no se cuenta con una variable que defina el numero de entidades con un alto nivel de estrés por periodo para cada tipo de entidad ²². Al final se desarrolla un índice para bancos comerciales (BC), bancos

²¹No existe un consenso generalizado acerca de qué constituye una crisis sistémica financiera. Muchos investigadores tienden a confiar en los criterios generados por los expertos en sistemas bancarios. Ver Bell y Pain (2000).

²²Para el caso del sistema financiero sí se desarrolló una variable dependiente que señalara la cantidad

Figura 2: **Indices de Estabilidad Financiera**



Fuente: Cálculos de los autores.

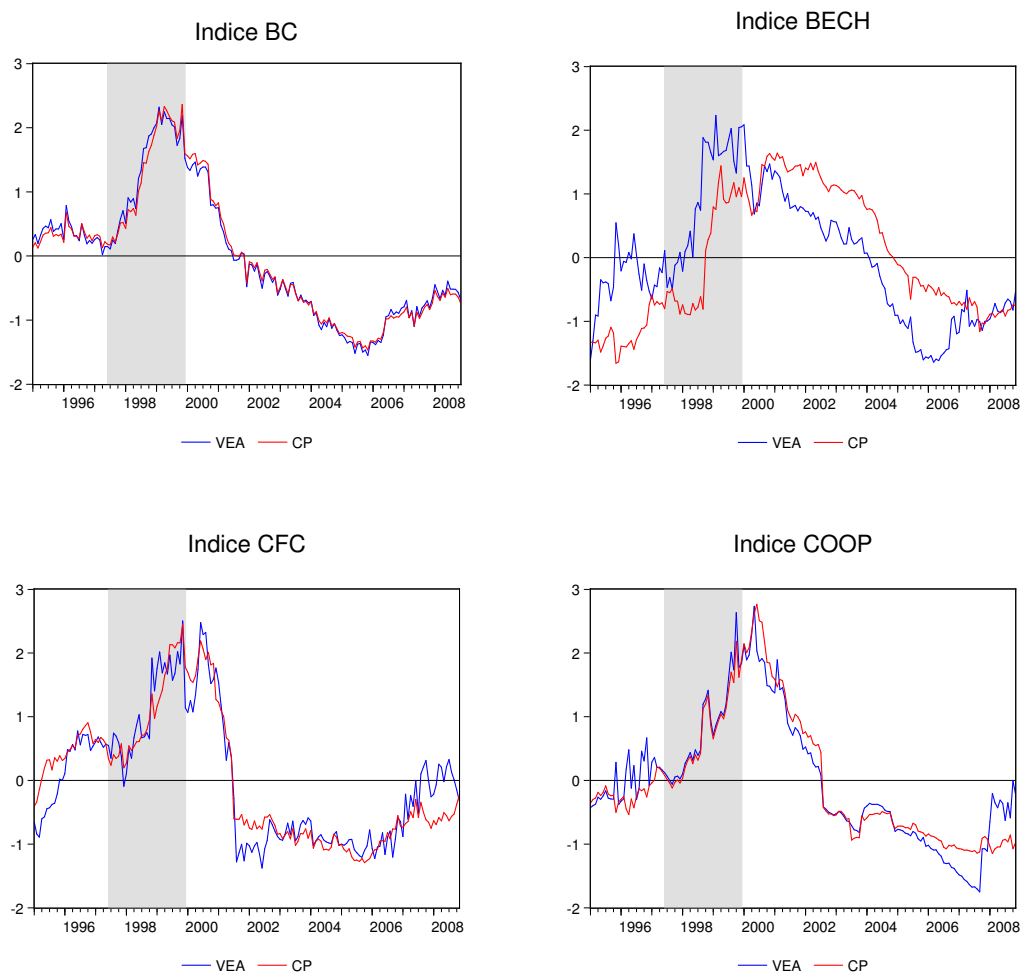
especializados en crédito hipotecario (BECH), compañías de financiamiento comercial (CFC) y cooperativas de financiamiento (COOP).

En general se puede observar que el comportamiento del índice por tipo de entidad tiene una forma similar al presentado por el indicador del sistema, pero se debe resaltar que dada esta desagregación se logra definir qué tipo de entidades presentan un mayor nivel de estrés. En la Figura 3, se muestran los cuatro indicadores que corresponden a cada tipo de entidad; en los últimos meses se puede notar como los indicadores de las CFC y las COOP han presentado un acelerado crecimiento, lo cual sugiere que su nivel de estrés se ha incrementado muy rápido, que para el caso particular de las CFC alcanzó a ser mayor que su media indicando un nivel de estrés moderado. Para el caso de los BC y BECH el aumento del nivel de estrés también se ha acelerado pero en una menor cuantía.

En términos de política y regulación es importante poder realizar actividades de monitoreo tanto para el sistema financiero como para cada una de las entidades que lo conforman. De ahí surge la intención de desarrollar un índice de estrés para cada tipo de entidad; de esta forma se tiene una visión más específica de como se encuentra el sistema financiero. Desde la perspectiva de un índice global muchas veces no se logra visualizar el estado de estrés de algunos tipos de entidades que en el agregado son una proporción pequeña del sistema, pero que podrían generar problemas de contagio afectando al sistema financiero como un todo. Si este es el caso, el estrés financiero

de entidades bajo estrés por periodo.

Figura 3: Índice de estrés financiero por tipo de entidad



Fuente: Cálculos de los autores.

no podría observarse en el índice global en un principio dada la pequeña proporción que tiene ese tipo de entidad en el capital total del sistema financiero pero si podría visualizarse en el índice de estrés por tipo de entidad. A manera de ejemplo, cuando se analiza el índice global IEFI, el nivel de estrés financiero para el ultimo año del periodo de análisis aún se encuentra por debajo del nivel de estrés promedio, lo que no ocurre cuando se analiza el nivel de estrés para el caso particular de las CFC, que para uno de los indicadores estuvo por encima del nivel de estrés promedio.

5. Pronósticos

Como se ha mencionado anteriormente, el índice de estabilidad financiera (IEFI) genera una medida contemporánea del nivel de estrés que presenta el sistema financiero colombiano para cada periodo de tiempo. Para términos de política y supervisión bancaria, un ejercicio interesante es poder pronosticar el nivel de estrés futuro del sistema, dado que de esta manera los entes reguladores podrían anticiparse tomando medidas regulatorias en busca de prevenir las vulnerabilidades en el sistema.

En esta sección se presentan algunos modelos a utilizar para desarrollar los pronósticos del indicador; asimismo se mostraran los resultados, fortalezas y limitaciones de nuestro método. En general la literatura internacional sugiere el uso de variables macroeconómicas para desarrollar pronósticos del índice de estrés: por ejemplo en el trabajo de Hanschel y Monnin (2005), a partir de una regresión se pronostica el índice para el sector financiero suizo utilizando como variables explicativas las brechas ²³ de algunas variables macro tales como el índice accionario, el índice del precio de la vivienda, el PIB, la razón de créditos privados sobre PIB y la razón de inversión sobre PIB. Para el caso de Estados Unidos, Puddu (2008), sigue la metodología de los sistemas de alerta temprana (EWS) basados en la aproximación macro. Las variables seleccionadas son cuatro: la tasa de inflación, el crecimiento del PIB, la razón del total de créditos sobre PIB y los precios promedios de la vivienda nueva. El autor emplea una regresión con el primer y cuarto rezago de cada variable explicativa en busca de pronosticar el índice de estrés.

En este documento los pronósticos se desarrollaran bajo dos distintas metodologías. La primera se enfoca en una análisis autorregresivo; desde esta perspectiva el gran supuesto será que la historia del comportamiento del índice de estrés contiene toda la información necesaria para explicar su comportamiento futuro bajo condiciones normales. Para ello se estimo un modelo estadístico Autorregresivo Integrado de Medias Móviles (ARIMA)²⁴. La segunda metodología involucrará algunas variables macro que hemos considerado relevantes y que en las pruebas de causalidad presentan una relación con el IEFI, para esta parte del trabajo emplearemos un modelo de Vectores de Corrección de Errores (VEC). Desde esta ultima perspectiva se supone que el entorno macro

²³La serie de datos de la *variable_i* menos su tendencia.

²⁴Por sus siglas en ingles.

tiene una fuerte incidencia en el nivel de estrés, dado que este nivel no solo dependerá de las vulnerabilidades del sistema sino de como se encuentra su entorno macroeconómico.

ARIMA

Desde esta perspectiva univariada, se desarrolló un modelo autorregresivo donde la variable dependiente en el momento t es explicada por su pasado. Dado que el índice IEFI es una serie integrada de orden uno $I(1)$ según las pruebas de raíces unitarias, se hace necesario emplear un modelo $ARIMA(p,r,q)$. Después de analizar los criterios de información de Akaike, Hannan-Quinn y Schwarz y los gráficos de la autocorrelación de la serie, el modelo más parsimonioso fue el $ARIMA(2,1,1)$:

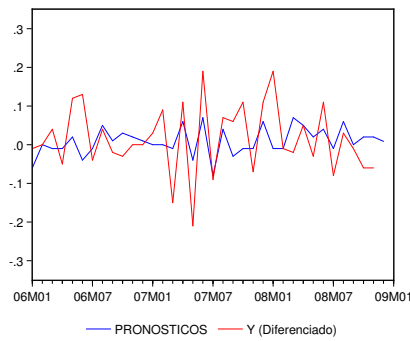
$$(1-L)IEFI_t = 0,00037 + 0,5058(1-L)IEFI_{t-1} + 0,3979(1-L)IEFI_{t-2} + \epsilon_t + 0,7487\epsilon_{t-1}, \quad (5.1)$$

donde $IEFI_t$ es el índice de estrés, L es un operador de rezagos, y ϵ es el termino de error aleatorio.

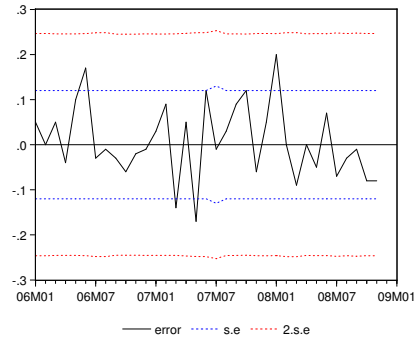
A partir de este modelo estimado se calculan las proyecciones del índice. Un primer ejercicio consiste en desarrollar pronósticos sobre muestra. Para ello se estimó el modelo hasta finales del año 2005 y se realizaron pronósticos un paso adelante hasta finales de 2008. En la Figura 4 Panel A, se muestran las observaciones de las diferencias del índice y los pronósticos estimados por el modelo. En el panel B se muestra el comportamiento de los errores.

Figura 4: **Pronósticos $(1-L)IEFI$ dentro de muestra.**

A. Pronósticos ARIMA



B. Errores de pronóstico

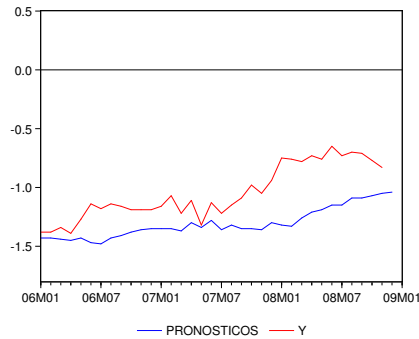


Fuente: Cálculos de los autores.

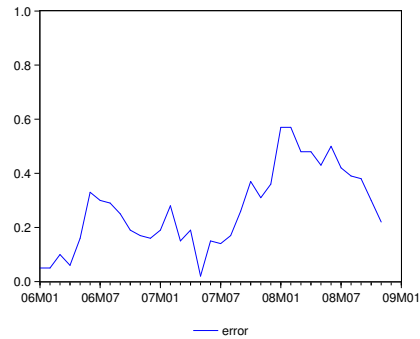
En la Figura 5 Panel A, se muestran los pronósticos para el índice en niveles, bajo esta aproximación los pronósticos parecen sobreestimar los datos observados, pero finalmente capturan la tendencia, la cual es importante para el análisis del estrés financiero.

Figura 5: **Pronósticos IEFI dentro de muestra.**

A. Pronósticos ARIMA



B. Errores de pronóstico

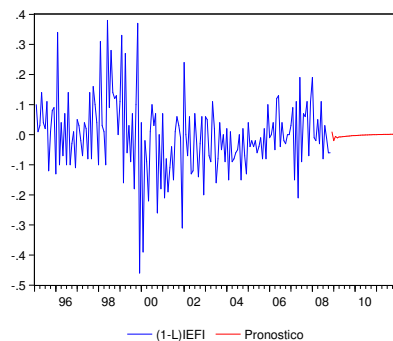


Fuente: Cálculos de los autores.

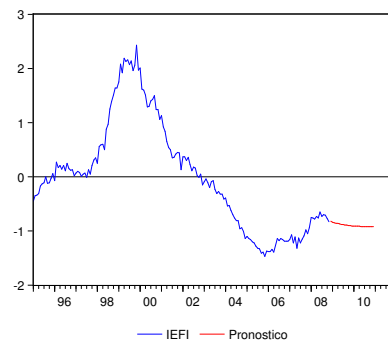
Según los resultados de los pronósticos sobre muestra, dado que se está utilizando un modelo ARIMA, estos pronósticos se ajustan muy bien al comportamiento del índice en diferencias, pero parece sobreestimar las observaciones de los niveles. Al final los pronósticos logran modelar la tendencia que el índice toma en el futuro cuando se hacen pronósticos *one-step ahead*. En la Figura 6, se muestran los pronósticos fuera de muestra bajo el procedimiento de *Recursive Forecasts*; en donde cada pronóstico hallado es reemplazado en el modelo estimado para generar pronósticos de algunos periodos más adelante.

Figura 6: **Pronósticos IEFI fuera de muestra.**

A. Pronósticos $(1-L)IEFI$



B. Pronósticos IEFI



Fuente: Cálculos de los autores.

VEC: Modelo de Vectores de Corrección de Errores

Desde esta perspectiva, se desarrollaron pronósticos para el IEFI teniendo en cuenta el comportamiento de algunas variables macroeconómicas. Las variables macroeconómicas consideradas fueron la inflación, el desempleo, el índice mensual de la actividad económica colombiana (IMACO)²⁵, y el índice del precio de la vivienda nueva (IPVN). Muchas de las variables seleccionadas son las sugeridas por la literatura y por la disponibilidad de las mismas. Otro criterio importante a la hora de definir las variables macro necesarias para pronosticar fueron las relaciones de causalidad que presentasen las variables con el índice. Al final estas relaciones se definieron bajo la prueba de causalidad de *Granger*(1969).

Un nivel alto de inflación tiene efectos negativos en la riqueza de los hogares y en las decisiones de inversión, asimismo un nivel alto en la variación de los precios tiende a incentivar el aumento en las tasas de interés. Todo esto conlleva a una menor demanda de crédito por parte de los hogares y dado un aumento en las tasas de interés podría generar menores niveles de solvencia; en el sentido que el incremento de las tasas genera una pérdida en el valor del portafolio en TES de la entidades además de una mayor carga financiera para los hogares que en cierta medida genera una mayor cantidad de activos ponderados por riesgo dado el aumento en el riesgo de crédito. De ahí que se espere una relación positiva entre la inflación y el índice de estrés. Por su parte el desempleo presenta también una relación directa con el índice de estrés; a mayor desempleo se espera una mayor tasa de impago para los créditos otorgados, lo cual aumenta la cartera improductiva y por ende el estrés financiero.

También se consideró un indicador de actividad económica (IMACO), en aras de tener una variable relacionada con la producción. Se espera que este variable presente una relación negativa con el indicador financiero. Un menor crecimiento económico, genera mayores tasas de cartera vencida y de cartera improductiva, además de una menor rentabilidad para las entidades financieras. Finalmente el índice del precio de la vivienda nueva (IPVN) es tomado como una proxy de la riqueza de las familias, dado que la vivienda representa uno de los activos más importantes de los hogares colombianos; esto implica que un mayor nivel de IPVN se traduce en una mayor capacidad de endeudamiento para los hogares, teniendo en cuenta que la vivienda se puede presentar como colateral. Por lo cual se espera una relación negativa entre el IPVN y el nivel de estrés.

Dado que las series seleccionadas no son estacionarias, y por el contrario son series integradas de orden uno $I(1)$, una de las posibles aproximaciones para modelar los datos es a través de un modelo de vectores de corrección de errores (VEC), siempre y cuando logre encontrarse una relación de largo plazo entre las variables. Para ello se hizo necesario realizar una prueba de cointegración de Johansen, con la cual se hallaron dos vectores de cointegración ²⁶. Después de estimar el modelo bajo dicha aproximación se realizaron algunos pronósticos del índice de estrés financiero (IEF), teniendo en cuenta el

²⁵Índice de mensual de la actividad económica desarrollado por el Banco de la Republica

²⁶El modelo estimado y las pruebas, no se presentan en el documento, pero pueden ser solicitadas a los autores.

pronostico de las variables macroeconómicas utilizadas (Figura 7, página 27). Bajo este escenario, si la economía presenta un nivel de inflación más bajo y una tasa desempleo menor, además de un crecimiento del nivel de precios de la vivienda mayor y un índice de actividad económica con una tasa de crecimiento menos negativa, entonces el nivel de estrés financiero para los próximos 18 meses sera un poco menor al presenciado a finales de 2008.

6. Comentarios Finales

Para decisiones de política y supervisión, una medida que logre monitorear el sistema financiero en el tiempo, generando un indicador de la calidad del sistema periodo a periodo, genera una visión más clara de las vulnerabilidades que este posee y ayuda en la toma de decisiones oportunas y acertadas de regulación en aras de disminuir los efectos provocados por los periodos de crisis o inestabilidad.

Teniendo en cuenta este hecho, en el presente trabajo se desarrolló un índice de estabilidad financiera con la capacidad de determinar el nivel de estrés del sistema financiero colombiano en el tiempo. Para ello se tuvieron en cuenta consideraciones de capital, rentabilidad, riesgo de crédito y riesgo de liquidez de los establecimientos de crédito. El índice se construyó ponderando las razones financieras más relevantes a través de distintas metodologías que sugiere la literatura internacional. Las aproximaciones utilizadas fueron el método de igualdad de varianza, los componentes principales y modelos para datos de conteo. Bajo las distintas metodologías se construyeron índices que presentaron un comportamiento muy similar, y que en general dieron una alta ponderación a las razones de rentabilidad y de riesgo de crédito.

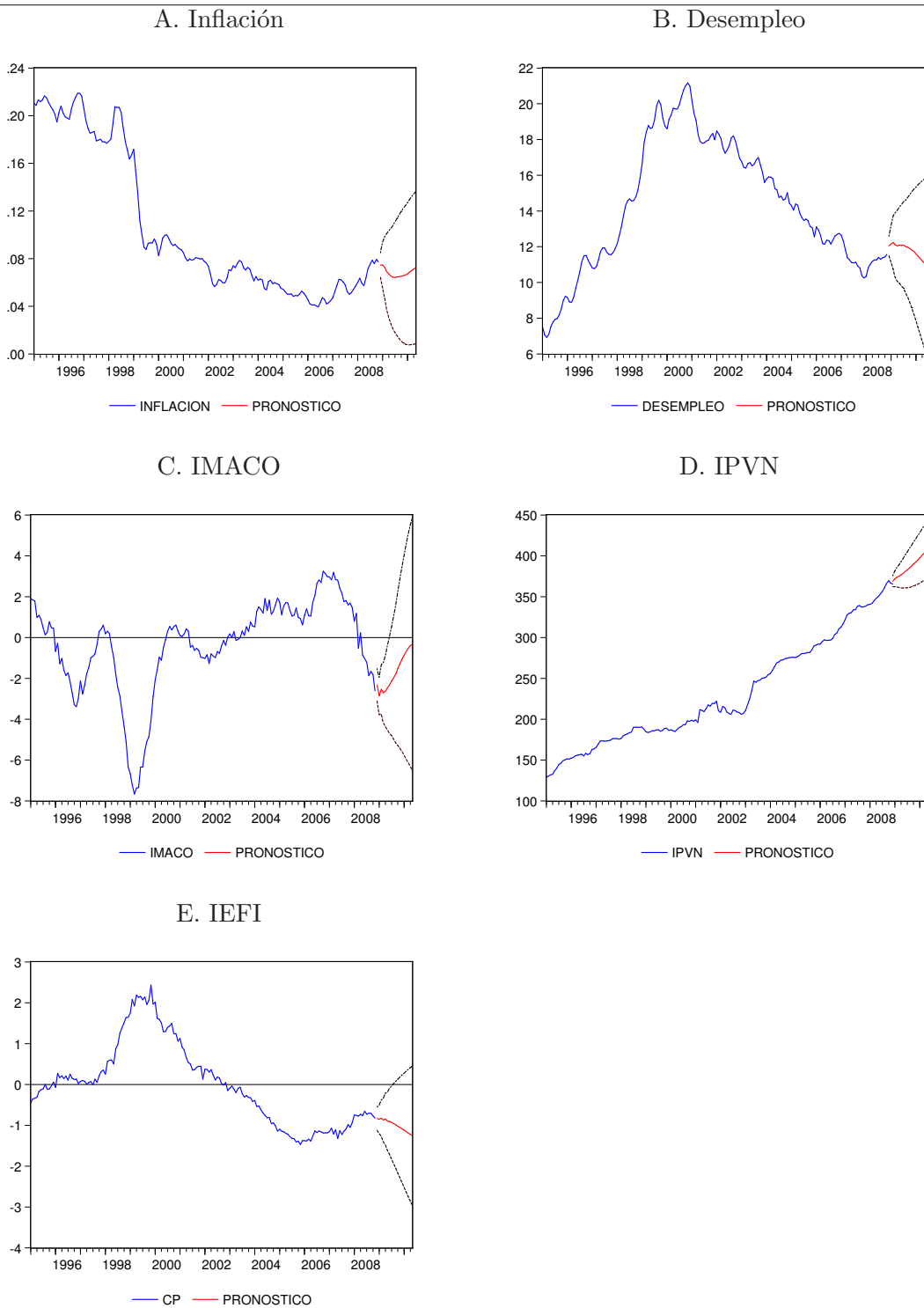
Algunas de las metodologías utilizadas para la construcción del índice presentaron ciertas limitaciones que deben ser superadas en próximos documentos. La forma en que se establecieron los umbrales para determinar la variable dependiente (Estrés) fue *ad hoc*, lo cual podría mejorarse en próximos trabajos. También se hace necesaria la búsqueda de nuevos métodos que permitan generar ponderaciones precisas en aras de complementar los métodos desarrollados en este estudio.

A pesar de la existencia de algunas limitaciones en los métodos utilizados, el comportamiento del índice es bastante acertado, y se ajusta muy bien con las evaluaciones históricas de los periodos de crisis y de bajo estrés financiero. De hecho, el indicador logra anticiparse a la crisis financiera colombiana con algunos meses de anticipación, mostrando un acelerado crecimiento en el nivel de estrés. Otra de las virtudes del indicador es que es una medida continua y cuantificable en el tiempo con una periodicidad mensual, lo cual permite ejercer una labor de monitoreo más exhaustiva, además, de que es un indicador fácil de interpretar y comunicar. Por otro lado, uno de los principales aportes de este estudio es que genera indicadores de estrés financiero tanto a nivel agregado como por tipo de entidad, en busca de tener una visión más detallada de la situación del sistema financiero.

A manera de ejercicio, al final del documento se realizaron algunos pronósticos del índice de estrés financiero en busca de tener una intuición del comportamiento futuro del nivel de estrés. Para ello se desarrollaron dos modelos; primero se estimó un modelo autorregresivo (ARIMA) suponiendo que toda la información necesaria para pronosticar realizaciones futuras se encuentra en la historia del indicador, y luego se estimó un modelo multivariado (VEC) utilizando variables macroeconómicas como lo sugiere la literatura internacional.

Este documento busca ser un punto de partida para el desarrollo de sistemas de alerta temprana e indicadores de nivel de estrés financiero para el caso colombiano. De la misma manera se espera que el IEFI pueda ser utilizado para futuros estudios de estabilidad financiera como una serie de referencia, dado que por ser un indicador continuo podría generar mayor información en el desarrollo de sistemas de alerta temprana que un modelo dicotómico en el que se defina si se está en un periodo de crisis o no.

Figura 7: Variables Macroeconómicas



Fuente: Cálculos de los autores.

Referencias

- Aspachs, O., Goodhart, C.A.E., Segoviano, M., Tsomocos, D. and L. Zicchino. (2006), Searching for a Metric for Financial Stability. *LSE Financial Markets Group Special Paper Series*. Special paper No. 167.
- Bell, J. and D. Pain. (2000). Leading indicator model of banking crisis - a critical review. *Financial Stability Review Bank of England*, pp. 113-129, December 2000.
- Berg, A. (1999). The Asia crises: Causes, policy responses and outcomes, *IMF working paper* 99, 138.
- Boss, M., Krenn, G., Schwaiger M. and Wegschaider, W. (2004). Stress Testing the Austrian Banking System. Austrian National Bank Österreichisches Bankarchiv, pp. 841-852, 2004.
- Čihák M. (2004). Stress Testing : A Review of Key Concepts Czech National Bank Research Policy Note, 2004.
- Demirgüç-Kunt, A. and E. Detragiache. (1998). The determinants of Banking Crises in Developing and Developed Countries. *IMF Staff Papers* Vol. 45 No. 1, 1998.
- Demirgüç-Kunt A. and E. Detragiache. (1999). "Monitoring Banking Sector Fragility: A Multivariate Logit Approach with an Application to the 1996/97 Banking Crises". *World Bank Policy Research Working Paper* No. 2085, November 1999.
- Disyatat, P. (2001). Currency crises and the real economy: The role of banks. *IMF working paper* 01, 49.
- Gomez-Gonzalez J. E. and N.M Kiefer. (2009). Bank failure: Evidence from the Colombian financial crisis. *The international journal of business and finance research*, (Forthcoming)
- González-Hermosillo B. (1999). Determinants of Ex-ante Banking System Distress: A Macro-Micro Empirical Exploration of Some Recent Episodes, *IMF Working paper*, 99/33, 1999.
- Gurmu, S. and P. Trivedi. (1994). Recent developments in model of event counts: A survey. Discussion paper 261, 1994.
- Hanschel, E. and P. Monnin. (2005). Measuring and forecasting stress in the banking sector: evidence from Switzerland". *BIS Papers* No 22, 2005.
- Illing, M. and Y. Liu. (2003) An index of financial stress for Canada. Bank of Canada working papers, no 14, 2003.

- Kaminsky, G. and C. Reinhart,. (1996). The twin crises: The cause of banking and balance-of-payment problems. *Board of Governors of the Federal Reserve System*, International Finance Discussion Paper no. 544.
- Kaminsky G. (1998). Currency and Banking Crises: The Early Warnings of Distress. *International Finance Discussion Paper*, No. 629, 1998.
- Logan, A. (2000). The early 1990s small banks crisis: Leading indicators, *Bank of England Financial Stability Review* 9: 130-45.
- Perez Reyna, D., Prada, J. y A. Saade.(2008). Efectos del encaje sobre la estabilidad financiera: aplicación de un DSGE al caso colombiano, 2008. Mimeo.
- Puddu S.(2008). Optimal Weights and Stress Banking Indexes. HEC-Université de Lausanne Switzerland, 2008. Mimeo.
- Quagliariello M. (2004). Banks's Performance over the Business Cycle: A Panel Analysis on Italian Intermediaries. Discussion Papers 04/17. Department of Economics, University of York, 2004.
- Vila, A. (2000). Asset price crises and banking crises: Some empirical evidence. *BIS conference papers* no. 8, (March): 232-52.

7. Anexos

Anexo A: Definición de la variable dependiente para el modelo ZIP y ZINB

Para desarrollar el modelo de datos de conteo se hizo necesario construir una variable que representara el numero de entidades con altos niveles de estrés o entidades en quiebra durante cada periodo. En nuestro caso se construyó una variable que representa la cantidad de entidades bajo niveles de estrés en el tiempo con una periodicidad mensual. Para la construcción de la variable dependiente (Estrés) fue necesario realizar un análisis estadístico entidad por entidad durante el periodo comprendido entre 1994-2008. La idea básica fue determinar las razones financieras de todas las entidades y evaluarlas con respecto a ciertos umbrales, para así determinar si se esta en una situación de estrés financiero o no.

Cuadro 4: Umbrales establecidos

Variable	Umbrales (%)	Primer Criterio
ROA	3.00	$> X_{i,t}$
ROE	5.00	$> X_{i,t}$
CV/CT	25.00	$< X_{i,t}$
CI/CT	10.00	$< X_{i,t}$
PL/AL	40.00	$< X_{i,t}$
FI/AL	60.00	$< X_{i,t}$
RPNC	0.00	$< X_{i,t}$
MARGEN	15.00	$< X_{i,t}$

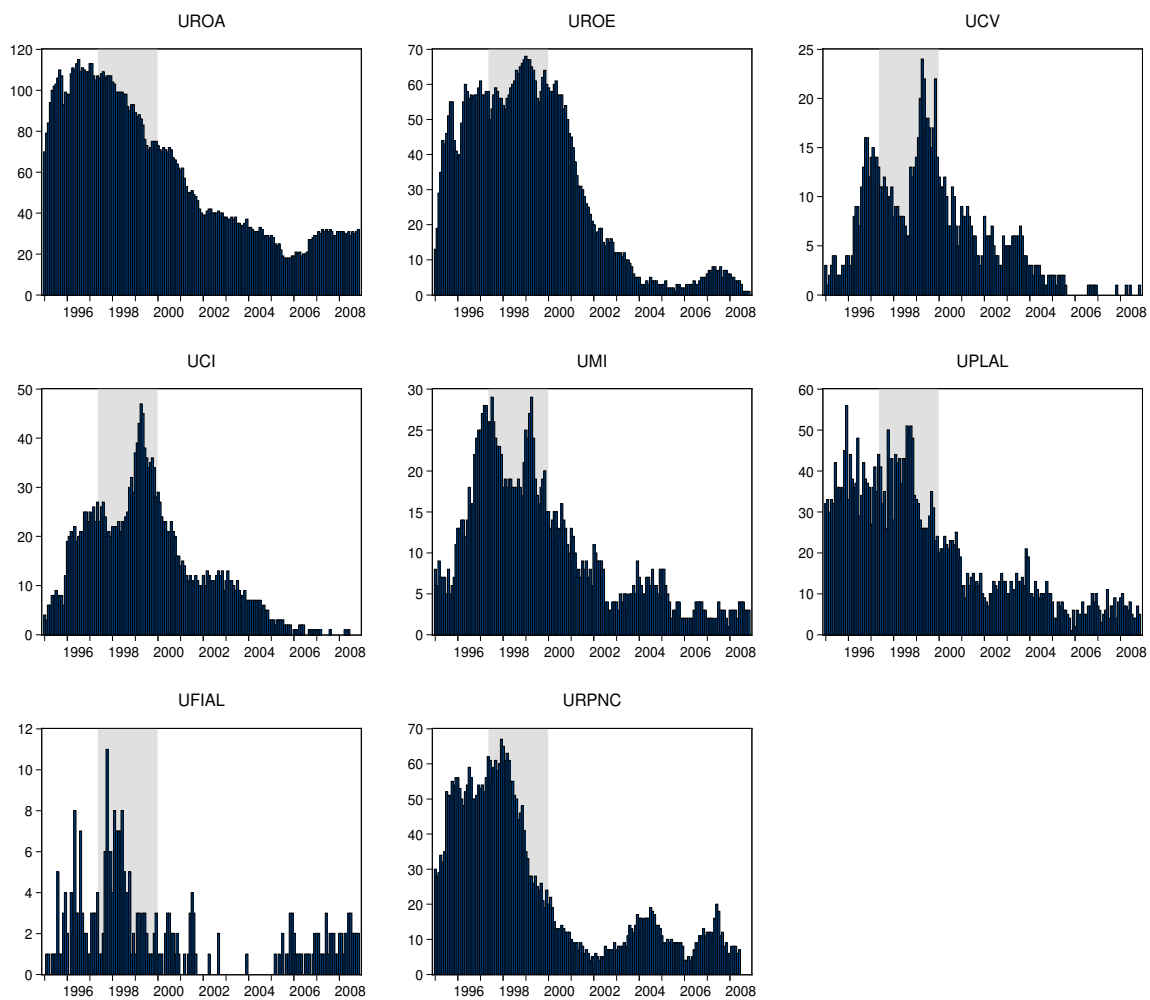
Fuente: Los umbrales fueron establecidos ad hoc.

En el cuadro 4, se muestran los umbrales para el primer criterio de selección. Estos umbrales fueron asignados arbitrariamente, pero siempre teniendo en cuenta un nivel moderado de estrés. El procedimiento consiste en tomar los balances de cada una de las entidades financieras existentes en el periodo t y a partir de estos elaborar las distintas razones que se utilizan a la hora de construir el índice; estas son el ROA, ROE, CV/CT, CI/CT, MI, PL/AL, FI/AL y RPNC. Dadas estas razones, el análisis siguiente fue determinar la cantidad de entidades que estaban por encima o por debajo de este umbral, según sea el caso²⁷. Bajo este primer análisis el numero de entidades que incumplieron alguno de los criterios se muestra en la Figura 8.

Después de identificar las entidades que no satisficieron alguno de los criterios descritos anteriormente, se hizo necesario identificar cuales entidades presentaron razones financieras que incumplieron más de tres criterios en el mismo periodo; esto se hizo en busca de identificar qué entidades presentaron debilidades en sus balances en el periodo t (Figura 9).

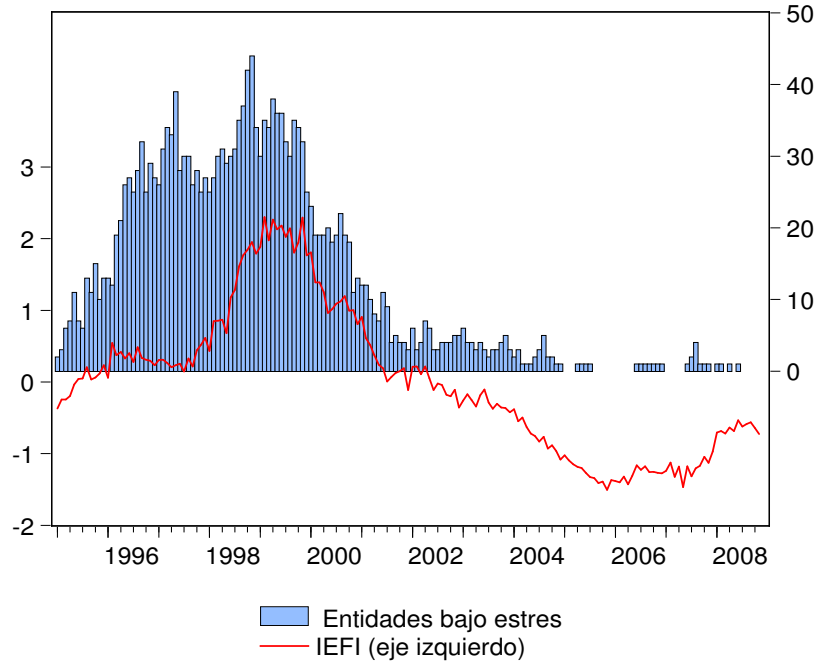
²⁷Por ejemplo para el caso del ROA, en el cuadro 4, se define el umbral al 3 %, entonces una *entidad_i* incumpliría ese criterio si presenta un ROA menor en el periodo t

Figura 8: Entidades por encima del umbral



Fuente: Cálculos de los autores.

Figura 9: **Entidades bajo estrés vs IEFI**



Fuente: Cálculos de los autores.

En la Figura 9, se muestran el número de entidades bajo estrés para cada periodo t según los criterios definidos anteriormente. Se observa que para el periodo de crisis se alcanzó el máximo histórico con un total de 44 entidades mientras que para periodos entre 2005 y 2006 existen meses en los cuales no se encuentran entidades bajo estrés. Esta variable se utilizará como variable dependiente para realizar las estimaciones a través de los modelos de datos de conteo, en donde las variables explicativas son las razones financieras nombradas anteriormente.

En la Figura 9 también se compara la variable (Estrés) con el índice de estabilidad financiera (IEFI) del sistema; el índice tiene un comportamiento muy similar a esta variable Estrés, lo cual corrobora una vez más el buen ajuste que tiene el IEFI para determinar el nivel de estrés financiero. En los periodos en que el índice alcanza sus máximos históricos un mayor número de entidades se encuentran bajo un alto nivel de estrés, mientras que en periodos en que el índice alcanza sus mínimos históricos en algunos casos no hay entidades bajo estrés teniendo en cuenta los criterios definidos anteriormente.

Anexo B: La razón de tasas de incidencia (IRR)

1. *Coefficientes asociados a la parte No Inflated*

El coeficiente estimado de una variable explicativa i , obtenida a partir de una regresión *Poisson*²⁸, puede ser interpretada como la diferencia entre los logaritmos del valor esperado de entidades bajo estrés, μ , evaluado en $i = n + 1$ e $i = n$, manteniendo el resto de variables constantes.

$$\beta_i = \log(\mu_{i=n+1}) - \log(\mu_{i=n}) \quad (7.1)$$

Donde β es el coeficiente obtenido en la regresión y μ es el numero esperado de entidades bajo estrés. Los subíndices implican una unidad de cambio en la variable estimada n .

Recuerde que la diferencia de dos logaritmos es igual a:

$$\beta_i = \log\left(\frac{\mu_{i=n+1}}{\mu_{i=n}}\right) \quad (7.2)$$

De ahí que se pueda interpretar a los parámetros estimados como el logaritmo de la razón de eventos esperados. Esto explica porque se llama razón de tasas de incidencia. Aplicando exponencial a ambos lados de la ecuación, se obtiene:

$$\exp(\beta_i) = \frac{\mu_{i=n+1}}{\mu_{i=n}} \quad (7.3)$$

La razón de tasas de incidencia (IRR), esta definida como el exponencial del coeficiente estimado;

$$IRR_i \equiv \exp(\beta_i). \quad (7.4)$$

Para nuestro caso representa la razón del número esperado de entidades bajo estrés evaluadas en $i = n + 1$ e $i = n$, manteniendo el resto de variables constantes. En otras palabras representa en términos relativos esperados, cómo cambia la variable dependiente por una unidad de cambio en la variable explicativa i .

²⁸Para el caso de la regresión *Binomial Negativa* aplica un análisis similar.

2. Coeficientes asociados a la parte *Inflated*

Los coeficientes estimados en este regimen del modelo, se estiman a través de un modelo *Probit*. En busca de hacer los valores comparables con los IRR de la parte Poisson y Binomial Negativa, los coeficientes deben ser re-escalados.

Suponiendo un modelo *Probit* de la siguiente forma:

$$y = x\beta + e \quad (7.5)$$

en donde,

$$y = \begin{cases} = 1 & \text{si } y^* > 0, \\ = 0 & \text{si } y^* = 0 \end{cases} \quad (7.6)$$

En este caso, la probabilidad que $y = 0$ dados los valores de las variables explicativas esta dado por la siguiente ecuación:

$$P(y = 0|x) \equiv 1 - G(x\beta) \quad (7.7)$$

donde $G(x\beta)$ es la función de distribución del termino de error e . Si suponemos que la única variable explicativa es el RPNC y una constante $\hat{\alpha}$. Además, si definimos a ρ como la razón entre $P(y = 0|x)$ cuando el RPNC=1 y la misma probabilidad calculada cuando el RPNC=0, tenemos que:

$$\rho \equiv \frac{P(y = 0|RPNC = 1)}{P(y = 0|RPNC = 0)} \quad (7.8)$$

La razón ρ es una función de la parametrización y del coeficiente estimado $\hat{\beta}_{RPNC}$ y $\hat{\alpha}$, es decir $\rho = f(RPNC, \hat{\beta}_{RPNC}, \hat{\alpha})$. La interpretación es la siguiente: si se da un aumento de una unidad en la variable explicativa, manteniendo el resto constante, la probabilidad de obtener un resultado $y = 0$ aumenta en ρ . Recuerde que este análisis de la razón ρ se ha realizado para comparar los resultados de la parte *Inflated* con los resultados (IRR) de la parte *No inflated*.

Anexo C: Método Delta para la estimación de la varianza

Varianza de una función de una variable aleatoria

- Dado que X es una variable aleatoria con valor esperado μ_X y varianza σ_X^2 . Además, se tiene una variable Y que esta definida por $f(X)$, donde la derivada de $f(X)$ con respecto a existe. Entonces la función $f(X)$ puede ser aproximada por una serie de Taylor de orden uno, donde X esta evaluado en μ_X :

$$\hat{f}(X) \approx f(\mu_X) + f'(\mu_X)(X - \mu_X)$$

De ahí, que la varianza de $f(X)$ puede aproximarse tomando la varianza de $\hat{f}(X)$.

$$\begin{aligned} Var[f(X)] &\approx Var[\hat{f}(X)] \\ Var[f(X)] &= Var[f'(\mu_X)(X - \mu_X)] \\ Var[f(X)] &= (f'(\mu_X))^2 \sigma_X^2. \end{aligned}$$

Varianza de una función de varias variables aleatorias

- Si X y Y son variables con media μ_X y μ_Y , varianza σ_X^2 y σ_Y^2 , y covarianza σ_{XY} . Además, existe una variable Z que esta definida como una función de X y Y , $Z = f(X, Y)$. Entonces la función $f(X, Y)$ puede ser aproximada por una serie de Taylor de primer orden.

$$\hat{f}(X, Y) = f(\mu_X, \mu_Y) + f'_X(\mu_X, \mu_Y)(X - \mu_X) + f'_Y(\mu_X, \mu_Y)(Y - \mu_Y)$$

De ahí, que la varianza puede ser aproximada de la siguiente manera:

$$Var[f(X, Y)] \approx (f'_X(\mu_X, \mu_Y))^2 \sigma_X^2 + (f'_Y(\mu_X, \mu_Y))^2 \sigma_Y^2 + 2f'_X(\mu_X, \mu_Y) * f'_Y(\mu_X, \mu_Y) * \sigma_{X,Y}$$